

ROTARY TOOL FOR FRICTION STIR AND PROCESSING METHOD USING THE SAME

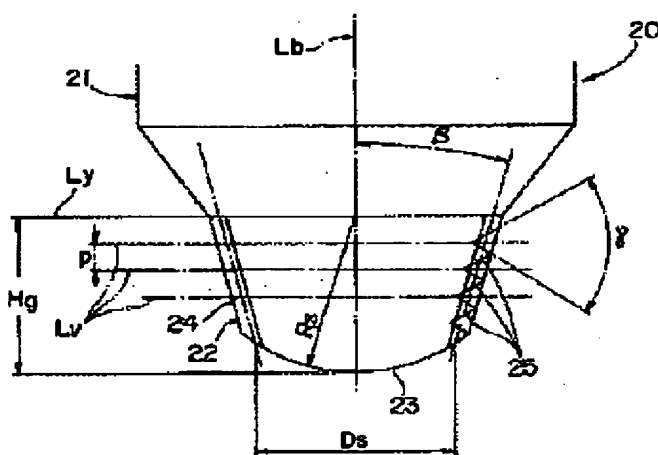
Patent number: JP2003136256
Publication date: 2003-05-14
Inventor: GENDO TOSHIYUKI
Applicant: MAZDA MOTOR CORP
Classification:
- international: B23K20/12; F02F1/24
- european:
Application number: JP20010334752 20011031
Priority number(s):

Report a data error here

Abstract of JP2003136256

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a rotary tool for friction stir which not only secures a desirable processing depth but also performs friction stir in a relatively narrow area and to provide a friction stir processing method using the rotary tool.

SOLUTION: This rotary tool for friction stir is provided with a tool body 21 which is nearly pillar-shaped, a tool tip 22 having a conically tapered part 24 which is coaxially disposed on the tip side of the tool body and is tapered, and a groove 25 which is spirally formed on the surface of the conically tapered part of the tool tip and set in such a manner that a peripheral shape in a longitudinal section containing an axial line Lb of the tool body becomes nearly a V-shape. Therein, the groove is set in such a manner that the area of an opposite-inserting side slant face is made to be the area of inserting side slant face or larger, and the rotary tool is used by rotating the tool tip inversely to the screwing direction of the nearly V-shaped groove which is spirally formed.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-136256

(P2003-136256A)

(43)公開日 平成15年5月14日(2003.5.14)

(51)Int.Cl.⁷

B 2 3 K 20/12

F 0 2 F 1/24

識別記号

3 1 0

F I

B 2 3 K 20/12

F 0 2 F 1/24

テームコード*(参考)

3 1 0

3 G 0 2 4

M

4 E 0 6 7

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 13 頁)

(21)出願番号

特願2001-334752(P2001-334752)

(22)出願日

平成13年10月31日(2001.10.31)

(71)出願人 000003137

マツダ株式会社

広島県安芸郡府中町新地3番1号

(72)発明者 玄道 俊行

広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ
株式会社内

(74)代理人 100062144

弁理士 青山 葆 (外1名)

Fターム(参考) 3G024 AA01 FA00 GA16 HA07

4E067 AA05 BG00 CA01 CA04 DC07

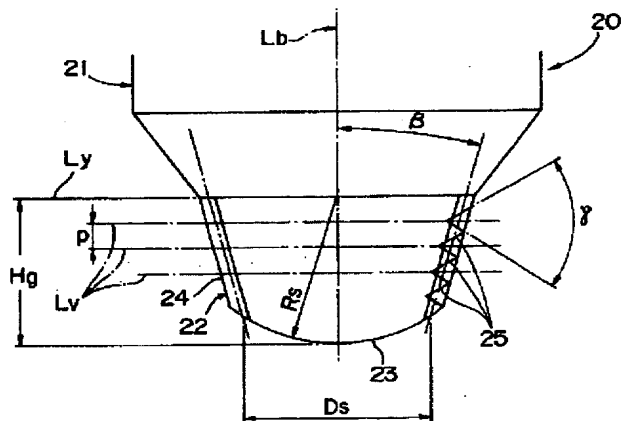
EA07 EB00

(54)【発明の名称】 摩擦攪拌用回転工具及びそれを用いた処理方法

(57)【要約】

【課題】 所要の処理深さを確保した上で、比較的狭い範囲を摩擦攪拌することができる摩擦攪拌用回転工具を提供し、また、かかる回転工具を用いた摩擦攪拌処理法を提供する。

【解決手段】 略柱状の工具本体部21と、該工具本体部の先端側に同軸に設けられ先細り状の円錐テーパ部24を有する工具先端部22と、該工具先端部の円錐テーパ部表面に螺旋状に設けられ工具本体部の軸線Lbを含む縦断面における周縁形状が略V字状に設定された溝部25とを備え、該溝部は反挿入側斜面の面積が挿入側斜面の面積以上となるように設定されており、工具先端部を螺旋状に設けられた上記略V字状溝部のねじ込み方向と逆方向に回転させて使用されることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 略柱状の工具本体部と、

該工具本体部の先端側に同軸に設けられ、先細り状の円錐テーパ部を有する工具先端部と、

該工具先端部の円錐テーパ部表面に螺旋状に設けられ、工具本体部の軸線を含む縦断面における周縁形状が略V字状に設定された溝部と、を備え、

該溝部は、反挿入側斜面の面積が挿入側斜面の面積以上となるように設定されており、

上記工具先端部を、上記螺旋状に設けられた略V字状溝部のねじ込み方向と逆方向に回転させて使用される、ことを特徴とする摩擦攪拌用回転工具。

【請求項2】 略柱状の工具本体部と、

該工具本体部の先端側に同軸に設けられ、先細り状の円錐テーパ部を有する工具先端部と、

該工具先端部の円錐テーパ部表面に螺旋状に設けられ、工具本体部の軸線を含む縦断面における周縁形状が略V字状に設定された溝部と、を備え、

上記縦断面内において、上記溝部の底部を通る溝底部中心線と工具本体部軸線に直交する軸直交線とのなす角度が、上記円錐テーパ部の工具本体部軸線に対する傾斜角度以下に設定されており、

上記工具先端部を、上記螺旋状に設けられた略V字状溝部のねじ込み方向と逆方向に回転させて使用される、ことを特徴とする摩擦攪拌用回転工具。

【請求項3】 上記工具本体部の軸線を含む縦断面内において、上記溝部の底部を通る溝底部中心線と工具本体部軸線に直交する軸直交線とのなす角度が、実質的に零度に設定されていることを特徴とする請求項2記載の摩擦攪拌用回転工具。

【請求項4】 軽金属部材どうしを摩擦攪拌法にて接合するに際し、請求項1～3の何れかに記載された回転工具を用いて上記軽金属部材どうしの接合部を摩擦攪拌処理することを特徴とする処理方法。

【請求項5】 軽金属部材の所定の表面部に摩擦攪拌法にて表面改質処理を施すに際し、請求項1～3の何れかに記載された回転工具を用いて上記軽金属部材の所定の表面部を摩擦攪拌処理することを特徴とする処理方法。

【請求項6】 上記軽金属部材がアルミニウム合金鋳物製のエンジンシリンダヘッドであり、上記所定の表面部が吸排気ポート間の表面部であることを特徴とする請求項5記載の処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、所謂、摩擦攪拌処理に用いられる摩擦攪拌用回転工具、並びに、かかる工具を用いて例えばアルミニウム合金等の軽金属製の部材に摩擦攪拌処理を施す処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】周知のように、例えば自動車用等の車両用のエンジンのシリンダヘッドは、例えばアルミニウム（A1）若しくはその合金等の軽合金材料を用いた鋳造品を素材とするものが一般的で、かかるシリンダヘッドをシリンダブロックに組み付けて使用される。

【0003】このようなシリンダヘッドでは、所謂、「バルブブリッジ部」或いは「弁間部」と称せられる、吸排気ポートのポート穴間の領域は、エンジン駆動時の気筒での燃焼による体積膨張と停止時の冷却による体積収縮とを繰り返すことから、一般に、熱疲労によるクラックが発生し易い。この問題に対して、従来では、弁間部に所謂リメルト処理を施して熱疲労強度の向上を図ることが、一般的な方法として知られている。

【0004】しかしながら、このリメルト処理は、あくまでも処理対象部として限られた領域の母材を溶融（再溶融）し凝固させるものであり、所要の処理深さや金属組織の微細化効果を安定して得ることが実際には難しく、また、リメルト処理に伴う高温酸化の問題が避け難く、更には、ピンホール等の未充填欠陥やクラック等の欠陥が発生し易いという問題もあり、これらを回避するためには、シールドガスの適用や予熱及び／又は後熱処理等を要しコスト高になるなど、実際には品質及び生産性確保の面で種々の問題を内包している。

【0005】そこで、近年では、アルミニウム（A1）やマグネシウム（Mg）或いはそれらの合金等の軽金属製部材の表面改質処理に、所謂、摩擦攪拌処理を適用することが考えられている。例えば、本願出願人は、特願2000-393328号において、かかる摩擦攪拌処理法を4気筒ディーゼルエンジンのA1合金製シリンダヘッドの弁間部の表面改質処理に適用することを提案した。また、弁間部の表面改質を行うものではないが、例えば、特開2000-15426号公報には、エンジンのA1合金製シリンダヘッドのシリンダブロックに対するシール面（合わせ面）の表面処理に、かかる摩擦攪拌処理法を適用することが開示されている。

【0006】この摩擦攪拌処理法では、高速で回転する回転工具を部材表面に当接させ押圧することで、その際に生じる摩擦熱と回転体の攪拌作用により、部材表面の回転工具当接部分及びその近傍領域を軟化させて塑性流動を生じせしめる。そして、この塑性状態の材料部分（塑性流動層）が非溶融状態で攪拌され、その後、塑性流動部分が凝固することにより、当該部材の表面及びその近傍領域が改質される。

【0007】A1合金等の軽金属製鋳造部材の表面に、この摩擦攪拌処理による表面改質処理を施すことにより、表面部分を溶融させて改質を図る所謂リメルト処理等による場合に比べて、鋳造部材の表面部分の金属組織をより緻密なものとし、また、鋳巣等による内部未充填欠陥を大幅に低減することができ、伸び及び靱性等の機械的特性並びに疲れ強さ（熱疲労強度）を向上させるこ

とができる。この場合において、リメルト処理等により表面部分を溶融させて改質を図る場合のように、鑄造部材内部のガス等によるブローホール或いはピンホールが形成される惧れもない。

【0008】尚、かかる摩擦攪拌法は、軽金属部材の表面改質だけではなく、例えば比較的薄肉の軽金属製板材どうしを衝合させてこの衝合部で両板材を接合する場合（例えば、特許第2712838号公報参照）など、軽金属部材どうしを接合する場合において、従来の溶接法に代えて、接合部の母材を溶融させることなく軽金属部材どうしを接合し得る接合法としても有用である。

【0009】ところで、上記摩擦攪拌法で用いられる回転工具は、例えば図20及び図21に示すように、所定直径の円柱体で成る工具本体部61と、その先端の中央部に一体的に固着された所定長さで比較的（上記工具本体部61よりも）小径の円柱体で成るプローブ部62とで構成されたものが、従来、一般的である。

【0010】この従来の回転工具60では、上記工具本体部61の端面におけるプローブ部62を除く領域が、所謂、ショルダ部63を構成しており、摩擦攪拌処理中においては、このショルダ部63が処理対象部材51の摩擦攪拌部分を表面側から押さえ込み、当該部分の塑性流動層が表面側に盛り上がることを規制することにより、当該処理対象部材51の表面51f側に変形が生じることが抑制されるようになっている。

【0011】上記工具本体部61は、図示しないホルダによって軸線回りに回転自在に支持されており、このホルダ（不図示）を工具駆動手段65によって回転駆動することにより、当該回転工具60がその軸線回りに回転させられる。上記工具駆動手段65は、具体的には図示しなかったが、ホルダ（不図示）を介して回転工具60を高速で回転させるための駆動モータを備えたとともに、上記回転工具60を処理対象部材51の表面51fと略直角方向に（つまり、図20及び図21における上下方向に）駆動し、また、部材表面51fに略沿って移動させるための、駆動機構を備えている。そして、該駆動手段65を駆動することにより、高速回転状態にある回転工具60のプローブ部62及びショルダ部63を処理対象部材51に対し、その表面51fと略直角方向に（つまり、部材51の深さ方向に）進入させ、また、部材表面51fに略沿って移動させることができるようになっている。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記従来の回転工具60では、プローブ部62の基端側がショルダ部63を構成し、摩擦攪拌処理時には、プローブ部62だけでなく上記ショルダ部63も、処理対象部材51の表面部51fに対して当接し押圧させられた状態で回転させられるので、このショルダ部63の摩擦攪拌作用により付随的な（つまり、不要な）塑性流動層53が生

じ、処理幅が必要以上に広くなるという問題があった。

【0013】従って、例えば、前述のシリンダヘッド弁間部のように（図21参照）、処理幅が限られた部分に表面改質処理を施すような場合、従来の回転工具60を用いたのでは、ショルダ部63の摩擦回転作用により付随的な（不要な）塑性流動層53が生じることにより起因して、処理部分に肩ダレが生じて変形したり、場合によっては未充填欠陥を招来するなどの問題が生じる惧れがある。

【0014】また、処理幅が広くなり過ぎるため、表面改質処理後に機械加工による仕上加工を行う場合にあっては、この仕上加工での加工取代 ΔM_w （図21参照）が大きくなり、生産効率が低下するという問題もあった。尚、図21において、処理対象部材51の実線表示は摩擦攪拌処理時の母材状態を示し、2点鎖線表示は、処理後の機械加工による仕上状態を示している。更に、かかる摩擦攪拌法で軽金属部材どうしの接合を行う場合にあっては、従来の回転工具60では、接合幅が必要以上に広くなるという難点があった。

【0015】尚、特開平11-128083号公報には、摩擦攪拌効果の向上を図るべく、プローブ部の外周面にネジを形成し、工具本体をネジの螺旋方向とは逆の方向に回転駆動するようにしたタイプの摩擦攪拌用工具が開示されているが、この場合でも、プローブ部の基端側（工具本体部の先端側）には、図20及び図21に示したものと同様のショルダ部が設けられ、このショルダ部によって処理対象部材の摩擦攪拌部分を表面側から押さえ込み、当該部分の塑性流動層が表面側に盛り上がることを規制するようになっている。

【0016】この発明は、上記諸問題に鑑みてなされたもので、所要の処理深さを確保した上で、比較的狭い範囲を摩擦攪拌することができる摩擦攪拌用回転工具を提供し、また、かかる回転工具を用いた摩擦攪拌処理法を提供することを、基本的な目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】本願発明者は、上記目的を達成するために種々研究開発を重ねる中で、プローブ部の外周面にネジを形成して工具をネジの螺旋方向とは逆の方向に回転駆動するようにしたタイプの摩擦攪拌用工具において、ネジの断面形状を種々検討し、ネジの反挿入側斜面の面積が挿入側斜面の面積以上となるように、より好ましくは、反挿入側斜面の面積が挿入側斜面の面積よりも大きくなるように設定した場合、工具を回転させて摩擦攪拌を行う際に、処理対象部材の摩擦攪拌部分をショルダ部で押さえ込まなくても、その塑性流動層が表面側に盛り上がるのが有効に抑制されることを見出した。

【0018】これは、摩擦攪拌によりネジ溝内及びその近辺に生じた塑性流動層は、工具がネジの螺旋方向（つまり、ねじ込み方向）とは逆の方向に回転させられるこ

とにより、ネジ溝の反挿入側斜面によって工具の反挿入側（つまり、処理対象部材の表面側）への流動が抑制されることが考えられるが、このネジ溝の反挿入側斜面の面積を少なくとも挿入側斜面の面積と等しく、より好ましくは、挿入側斜面の面積よりも大きく設定したことにより、塑性流動層の反挿入側への流動抑制効果がより大きくなるためであると考えられる。

【0019】特に、プローブ部に先細り状の円錐テーパー部を設け、その外周面に上記のような形状のネジ（螺旋状のV字溝）を設けることにより、処理幅をより狭く、且つ、処理深さをより深くでき、しかも、塑性流動層の表面側への盛り上がりより有効に抑制できることを見出した。

【0020】そこで、本願請求項1の発明に係る摩擦攪拌用回転工具は、略柱状の工具本体部と、該工具本体部の先端側に同軸に設けられ先細り状の円錐テーパー部を有する工具先端部と、該工具先端部の円錐テーパー部表面に螺旋状に設けられ工具本体部の軸線を含む縦断面における周縁形状が略V字状に設定された溝部とを備え、該溝部は反挿入側斜面の面積が挿入側斜面の面積以上となるように設定されており、上記工具先端部を上記螺旋状に設けられた略V字状溝部のねじ込み方向と逆方向に回転させて使用されることを特徴としたものである。尚、この場合において、上記溝部は、反挿入側斜面の面積が挿入側斜面の面積よりも大きくなるように設定されることが、より好ましい。

【0021】また、本願請求項2の発明は、略柱状の工具本体部と、該工具本体部の先端側に同軸に設けられ先細り状の円錐テーパー部を有する工具先端部と、該工具先端部の円錐テーパー部表面に螺旋状に設けられ工具本体部の軸線を含む縦断面における周縁形状が略V字状に設定された溝部とを備え、上記縦断面内において、上記溝部の底部を通る溝底部中心線と工具本体部軸線に直交する軸直交線とのなす角度が上記円錐テーパー部の工具本体部軸線に対する傾斜角度以下に設定されており、上記工具先端部を上記螺旋状に設けられた略V字状溝部のねじ込み方向と逆方向に回転させて使用されることを特徴としたものである。尚、この場合において、上記溝底部中心線と上記軸直交線とのなす角度が上記円錐テーパー部の工具本体部軸線に対する傾斜角度未満に設定されることが、より好ましい。

【0022】更に、本願請求項3の発明は、上記請求項2の発明において、上記工具本体部の軸線を含む縦断面内において、上記溝部の底部を通る溝底部中心線と工具本体部軸線に直交する軸直交線とのなす角度が、実質的に零度に設定されていることを特徴としたものである。

【0023】また更に、本願請求項4の発明は、軽金属部材どうしを摩擦攪拌法にて接合するに際し、請求項1～3の何れかーに記載された回転工具を用いて上記軽金属部材どうしの接合部を摩擦攪拌処理することを特徴と

したものである。

【0024】また更に、本願請求項5の発明は、軽金属部材の所定の表面部に摩擦攪拌法にて表面改質処理を施すに際し、請求項1～3の何れかーに記載された回転工具を用いて上記軽金属部材の所定の表面部を摩擦攪拌処理することを特徴としたものである。

【0025】また更に、本願請求項6の発明は、上記請求項5の発明において、上記軽金属部材がアルミニウム合金鋳物製のエンジンシリンダヘッドであり、上記所定の表面部が吸排気ポート間の表面部であることを特徴としたものである。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、添付図面を参照しながら詳細に説明する。図1及び図2は、本実施の形態に係る摩擦攪拌用回転工具の正面図および底面図である。これらの図に示すように、上記回転工具10は、同軸の多段円柱で構成され全体として略円柱状の工具本体部11と、該本体部11の先端側に設けられた工具先端部12とを備えており、該工具先端部12の中心軸は上記工具本体部11の中心軸（軸線）Lbと一致するように構成されている。

【0027】図3に詳しく示すように、上記工具先端部12は、その最先端部分13が、所定曲率半径Rsの球面の一部で構成され、底面視で直径Dsの円形を成す曲面状に形成されている。また、工具先端部12の側面部分は、先端に向かうに連れて小径となる、所謂、先細り状に形成された円錐テーパー部14で構成されている。

【0028】そして、この円錐テーパー部14の表面部には、ネジ状の溝部15が設けられている。この溝部15は、図6に詳しく示すように、工具本体11の軸線Lbを含む縦断面における周縁形状が略V字状に設定され、上記円錐テーパー部14の表面に所定のピッチpで螺旋状に設けられている。

【0029】上記ネジ状の溝部15が設けられた円錐テーパー部14は、工具先端部12の先端から長さHgにわたって設けられ、この円錐テーパー部14の基端部と工具本体部11の端部とは、円錐テーパー部14よりも傾斜角度の大きいテーパー面で接続されている。すなわち、この回転工具10では、従来のように工具本体の下端側に平坦なショルダ部は設けられていない。

【0030】また、本実施の形態では、上記工具本体部11の軸線L1を含む縦断面内において、溝部15の底部を通る溝底部中心線Lvと工具本体部11の軸線Lbに直交する軸直交線Lyとのなす角度αが、上記円錐テーパー部14の工具本体部軸線Lbに対する傾斜角度β以下となるように、上記V字状溝部15の断面形状が設定されている。

【0031】すなわち、図4において実線で示すように、上記溝底部中心線Lvと軸直交線Lyとのなす角度α1が円錐テーパー部14の傾斜角度β1と等しい（α1

= β 1) 場合には、溝底部中心線Lvが円錐テーパー部14の表面に対して垂直となり、溝部15の上側(反挿入側)斜面15aの面積は下側(挿入側)斜面15bの面積とが等しくなる。しかし、上記溝底部中心線Lvと軸直交線Lyとのなす角度 α が円錐テーパー部14の傾斜角度 β よりも大きい($\alpha > \beta$)場合には、溝部15の上側(反挿入側)斜面の面積は下側(挿入側)斜面の面積よりも小さくなる。

【0032】これに対して、図4において破線で示すように、上記溝底部中心線Lvと軸直交線Lyとのなす角度 α 2が円錐テーパー部14の傾斜角度 β 1未満(α 2< β 1)場合には、溝底部中心線Lvが円錐テーパー部14の表面に対して傾斜し、溝部15の上側斜面15aと下側斜面15bの成す角度 γ (溝角度)は一定であるが、上側斜面15aの面積は下側斜面15bの面積よりも大きくなる。

【0033】従って、この場合、上記工具先端部12を螺旋状に設けられた略V字状溝部15のねじ込み方向(つまり、螺旋方向)と逆方向に回転させて摩擦攪拌をおこなわせることにより、高速回転状態の工具先端部12を処理対象部材の表面部に対して押圧し進入させて行く際、摩擦攪拌によって溝部15内及びその近辺に生じた塑性流動層の反挿入側(図3及び図4における上側)への流動抑制効果がより大きくなり、従来のように処理対象部材の摩擦攪拌部分をショルダ部で押さえ込まなくても、その塑性流動層が表面側に盛り上がることを有効に抑制できるのである。

【0034】すなわち、工具本体部の下端側に設けられたショルダ部による不要な摩擦攪拌を伴う従来の回転工具を用いる場合に生じ得る前述の不具合を解消でき、所要の処理深さを確保した上で比較的狭い範囲を摩擦攪拌することができるようになる。しかも、工具先端部12は先細り状の円錐テーパー部14を有し、略V字状の溝部15はこの円錐テーパー部14の表面に螺旋状に設けられているので、摩擦攪拌時の処理幅をより狭く、且つ、処理深さをより深くでき、しかも、塑性流動層の表面側への盛り上がりより有効に抑制することができる。尚、この実施の形態に係る回転工具10を駆動する工具駆動手段としては、例えば、前述の図20に示された工具駆動手段65と同様のものを用いることができる。

【0035】次に、本発明の第2の実施の形態に係る摩擦攪拌用回転工具について、図5を参照しながら説明する。尚、以下の説明において、上述の第1の実施の形態に係る回転工具10(以下、これを、適宜、「タイプI」の回転工具と称する。)における場合と同様の構成を備え同様の作用をなすものについては同一の符号を付し、それ以上の説明は省略する。

【0036】この第2の実施の形態に係る回転工具20(以下、これを、適宜、「タイプII」の回転工具と称する。)は、工具本体部21並びに工具先端部22(最

先端部分23及び側面の円錐テーパー部24を含む)の形状については、第1の実施の形態におけるものと同様であるが、下記のように、円錐テーパー部24の表面部に形成されたV字状溝部25の溝部中心線Lvと上記軸直交線Lyとのなす角度 α が、異なった設定となっている。

【0037】すなわち、上記図3に示されるように、上記略V字状溝部15の溝底部中心線Lvと軸直交線Lyとのなす角度 α を円錐テーパー部14の傾斜角度 β 未満($\alpha < \beta$)に設定して、上側(反挿入側)斜面15aの面積が下側(挿入側)斜面15bの面積よりも大きくなるように設定する場合、図5に示す回転工具20のように、溝底部中心線Lvと軸直交線Lyとのなす角度 α を実質的に零度に設定することにより、同一方向に螺設された略V字状溝部25について、その反挿入側斜面の面積を実質的に最大化することができ、より一層高い効果を奏することが可能になる。

【0038】本発明の効果を確かめるために、本発明実施例の回転工具と比較例の回転工具をそれぞれ用いて、処理対象サンプル部材の表面部に摩擦攪拌による表面改質処理を施し、その処理部の様子を調べる比較試験(試験1)を行った。図6は、本試験1で用いた比較例に係る回転工具40の正面説明図である。この比較例の回転工具40では、円柱状の工具本体部41(直径=25mm)の先端中央部分に円柱状の工具先端部42(直径=7.0mm;長さ=6.0mm)が突設され、工具本体部41の端面の工具先端部42を除く領域がショルダ部43を構成している。

【0039】また、上記工具先端部42の側面には断面略V字状の溝部(溝角度=60度;ピッチ=1mm)がネジ状(螺旋状)に設けられている。そして、この螺旋方向とは逆方向に工具40を回転させて摩擦攪拌処理が行われるようになっている。

【0040】これに対して、本発明実施例に係る回転工具としては、第2の実施の形態に係るタイプ(タイプI:図5参照)の回転工具20を用いた。図5に示した各部の具体的な寸法値等は以下の通りとした。

- ・工具先端部22の最先端部23の直径: $D_s = 7\text{ mm}$
- ・円錐テーパー部24の長さ: $H_g = 5.8\text{ mm}$
- ・最先端部23の曲率半径: $R_s = 6\text{ mm}$
- ・溝部25のピッチ: $p = 1\text{ mm}$
- ・溝底中心線Lvの軸直交線Lyに対する角度: $\alpha = 0\text{ 度}$
- ・円錐テーパー部24の傾斜角度: $\beta = 15\text{ 度}$
- ・溝部25の溝角度: $\gamma = 60\text{ 度}$

【0041】尚、上記両回転工具20、40は、共に、JISに規定された所謂工具鋼を材料とし、所要の機械加工および熱処理等を施して製作されたものである。また、本試験での処理対象部材はJIS規格に規定されたアルミニウム合金製の鋳造部材とし、例えば、エンジンのシリンダヘッド等によく用いられるA1合金AC4D

を材料に用いた。以上の二種類の回転工具 20, 40 を使用してそれぞれ摩擦攪拌処理を行い、その処理結果を比較した。各回転工具についての摩擦攪拌処理条件は、

- ・比較例：工具回転数 = 1200 rpm
：工具移動速度 = 32 mm/min.
- ・本発明実施例（タイプ I I）：工具回転数 = 1080 rpm
：工具移動速度 = 75 mm/min.

【0043】摩擦攪拌処理終了後の各供試材について、摩擦攪拌処理部（改質層）の深さや処理幅などを調べて比較した。すなわち、摩擦攪拌処理を終了した各供試材の処理部を切断し、その切断面を研磨した後に、投影機を用いて約 5 倍の倍率で改質層の深さ及び幅等を観察した。観察結果を、図 8（本発明実施例）及び図 9（比較例）に示す。

【0044】図 8 と図 9 とを比較して良く分かるように、略同等の処理深さに対して、比較例の場合には摩擦攪拌処理部 S f の幅が非常に広がっている。また、比較例の場合、上述のように工具移動速度が本発明実施例の半分以下であるにも拘わらず、処理部 S f の表面に欠落部分 B が多く生じており、摩擦攪拌中に表面側へ流動しバリとして流失した塑性流動部分の量が多いことを物語っている。尚、上記図 8 及び 9、並びに、後述する図 10～18 においては、摩擦攪拌処理部 S f に生じた上記のような欠落部分 B は黒色表示された領域として示されている。

【0045】換言すれば、本発明実施例の回転工具 20（タイプ I I）を用いることにより、比較例の回転工具 40 を用いた場合に比して、摩擦攪拌処理の処理幅を（同等の処理深さに対して）より狭く、また、処理深さを（同等の処理幅に対して）より深くでき、しかも、塑性流動層の表面側への流動による盛り上がり変形や多量のバリ発生をより有効に抑制できることが確認された。

- ・工具回転速度（一定）：1080 rpm
- ・押し込み量（一定）：5.5 mm
- ・工具移動速度（処理速度：一定）：22.5, 70, 150, 320, 470

【0049】摩擦攪拌処理終了後の各供試材について、試験 1 の場合と同様の手法で、摩擦攪拌処理部（改質層）の深さや処理幅などを調べて比較検討した。この試

それぞれ以下の通りとした。

【0042】

【0046】次に、上記第 1 の実施の形態に係る回転工具 10（タイプ I）と第 2 の実施の形態に係る回転工具 20（タイプ I I）とについて、処理対象サンプル部材の表面部に摩擦攪拌による表面改質処理を施し、その処理部の態様を調べる比較試験（試験 2）を行った。上記両回転工具 10, 20 では、溝底中心線 L v の軸直交線 L y に対する角度 α の値が異なるのみで、それ以外の各部の寸法値は同じである。上記角度 α は、以下の通りである。

- ・タイプ I：角度 $\alpha = 15$ 度
- ・タイプ I I：角度 $\alpha = 0$ 度

【0047】また、図 4 及び図 5 に示した各部の具体的な寸法値等は以下の通りとした。

- ・工具先端部 12, 22 の最先端部 13, 23 の直径：
D s = 7 mm
- ・円錐テーパ部 14, 24 の長さ：H g = 5.8 mm
- ・最先端部 13, 23 の曲率半径：R s = 6 mm
- ・溝部 15, 25 のピッチ：p = 1 mm
- ・円錐テーパ部 14, 24 の傾斜角度： $\beta = 15$ 度
- ・溝部 15, 25 の溝角度： $\gamma = 60$ 度

【0048】この試験 2 では、両回転工具 10, 20 について、工具回転速度および処理対象部材に対する押し込み量の条件を下記の値で一定とし、工具の移動速度を種々変更して摩擦攪拌処理を行なった。尚、処理対象部材には上記試験 1 の場合と同様の軽合金部材を用いた。

750 [mm/min.]

試験 2 の試験結果を表 1 及び図 10～図 18 に示す。

【0050】

【表 1】

	処理速度 (mm/min.)					
	22.5	70	150	320	470	750
回転工具 タイプ I	○	×	×	—	—	—
回転工具 タイプ I I	○	○	○	○	×	×

【0051】表 1 に示すように、この試験 2 の試験結果の比較検討において、塑性流動層 S f の処理表面側への流動・流出により処理部の表面層に多量の欠落部 B があり、後工程の仕上げ加工で十分に除去し切れないものについては、不合格（×印）とし、かかる処理部表面層の

欠落部 B が僅かであり後工程の仕上げ加工で確実に除去し得る程度のものについては合格（○印）とした。表 1 及び図 10～図 12 から良く分かるように、タイプ I の回転工具 10 の場合には、処理速度が 22.5 mm/min. の場合（図 10 参照）だけが合格で、それを越え

る処理速度(70, 150mm/min.: 図11, 図12参照)では不合格であった。尚、このタイプIの回転工具10の場合、320mm/min. 以上の処理速度については、結果が明白であるので敢えて試験は行わなかった。

【0052】これに対して、タイプIIの回転工具20の場合には、処理速度が320mm/min. 以下の場合(図13, 14, 15及び16参照)には全て合格で、それを越える処理速度(470及び750mm/min.: 図17及び18参照)では不合格であった。

【0053】上記両回転工具10, 20は、共に、工具先端部12, 22に円錐テーパー部14, 24を設け、その外周部に略V字状の溝部15, 25を螺旋状に形成し、円錐テーパー部14, 24の工具本体部軸線Lbに対する傾斜角度 β を15度としたものである。しかし、溝底中心線Lvと軸直交線Lyとのなす角度 α については、回転工具10(タイプI)の場合、円錐テーパー部14の傾斜角度 β と等しく($\alpha = \beta = 15$ 度)、従って、溝部15の反挿入側斜面の面積と挿入側斜面の面積とが等しくなっている。

【0054】このため、このタイプIの回転工具10では、高速回転状態の工具先端部12を処理対象部材の表面部に対して押圧し進入させて行く際、摩擦攪拌によって溝部15内及びその近辺に生じた塑性流動層の反挿入側(つまり、処理表面側)への流動を、溝部15の反挿入側斜面によって十分に抑制することが難しく、しかも、元々ショルダ部は設けられていないので、処理速度が70mm/min. 程度以上となると、塑性流動層の処理表面側への流動・流出を十分に規制することは難しい。表1及び図10～図12の試験結果は、このことを物語るものである。

【0055】尚、このタイプIの回転工具10を用いた場合でも、図9と図10とを比較して良く分かるように、比較例の回転工具40を用いて摩擦攪拌処理を行う場合に比して、摩擦攪拌処理の処理幅を(同等の処理深さに対して)より狭くでき、また、処理深さを(同等の処理幅に対して)より深くすることができる。更に、塑性流動層の表面側への流動による盛り上がり変形や多量のバリ発生をより有効に抑制することも可能である。

【0056】上記タイプIの回転工具10に対して、回転工具20(タイプII)の場合、溝底中心線Lvと軸直交線Lyとのなす角度 α は円錐テーパー部24の傾斜角度 β よりも小さく($\alpha < \beta$)、しかも、この角度 $\alpha = 0$ 度に設定されているので、溝部25の反挿入側斜面の面積は挿入側斜面の面積よりも大きく、しかも、最大化されている。

【0057】従って、このタイプIIの回転工具20の場合、上記工具先端部22を螺旋状に設けられた略V字状溝部25のねじ込み方向(つまり、螺旋方向)と逆方向に回転させて摩擦攪拌をおこなわせることにより、高

速回転状態の工具先端部22を処理対象部材の表面部に対して押圧し進入させて行く際、摩擦攪拌によって溝部25内及びその近辺に生じた塑性流動層の反挿入側(つまり、処理表面側)への流動抑制効果がより大きくなり、従来のように処理対象部材の摩擦攪拌部分をショルダ部で押さえ込まなくても、塑性流動層の反挿入側への流動を、溝部25の反挿入側斜面によって十分に抑制することができ、処理速度が比較的高速(320mm/min. 程度)の場合でも、塑性流動層の処理表面側への流動・流出を十分に規制することができる。表1及び図13～図18の試験結果は、このことを物語るものである。

【0058】次に、本発明の実施の形態に係る回転工具20(タイプII)を用いて摩擦攪拌処理を行う具体例について、例えば、エンジンのシリンダヘッドにおける弁間部の表面部の改質処理を行う場合を例にとりて説明する。図19は、上記第1の実施の形態に係るシリンダヘッド鋳造素材のシリンダブロック(不図示)との合せ面を概略的に示す平面説明図である。この図に示すように、上記シリンダヘッドCHは、直列4気筒タイプとされた直噴ディーゼルエンジン用のもので、長手方向に沿って一列に配置された各気筒毎に、一対の吸気ポートKcと一対の排気ポートEcとが設けられている。そして、各気筒毎にポート間の部材領域(つまり、弁間部)は略十字形を形成している。

【0059】このシリンダヘッドCHは、例えばアルミニウム(A1)合金を材料として鋳造プロセスにより製造され、シリンダブロック(不図示)との合せ面の特に弁間部に上述の摩擦攪拌処理法による表面処理が施される。尚、上記シリンダヘッドCHの軽合金材料としては、例えば、JIS規格に規定されたA1合金AC4Dを用いた。この代わりに、AC4B又はAC2B更にはAC8A等も用いることができる。

【0060】上記表面処理を施すに際しては、その前工程でシリンダブロックとの合せ面がフライス加工により荒加工される。図19は、この合せ面の荒加工状態を示すものである。従って、図19において実線で表示された上述の各吸気ポートKc及び各排気ポートEcは、全て鋳抜き穴の状態を示しており、実際には、図19において破線表示で示すように、弁間部の表面処理後にドリル加工等の機械加工によって仕上げられ、所定の形状・寸法及び表面粗さを有する吸気ポート及び排気ポートが得られる。

【0061】また、上記シリンダヘッドCHには、表面処理後に、長手方向に沿って配列される複数のテンションボルト孔Htが、ドリル加工によって穿設される。これらテンションボルト孔Htは、仕上げ加工を終えた後のシリンダヘッドCHをシリンダブロックに組み付けて締結固定する際に、この締結固定用のテンションボルトを挿通させるもので、長手方向に配列された4つの気筒

部分を挟むようにして、平行な一対の直線に沿って設けられる。これらテンションボルト孔Htは、各列毎に5箇所設けられ、長手方向における両端部の近傍および各気筒部分の間に位置設定されている。

【0062】尚、上記図19において、実線曲線で示された穴部は全て鑄造プロセスで形成された、所謂、鑄抜き穴を示している。一方、同図において破線曲線で示された穴部は、全て、鑄物状態では穴部ではないが、弁間部等に対する表面処理を施した後に、ドリル加工等の機械加工により、所定形状及びサイズ更には表面粗さに仕上げられた穴部として形成されるものを示している。

【0063】本実施の形態に係るシリンダヘッドCHでは、摩擦攪拌処理による弁間部の表面処理経路が、各気筒毎に設けられシリンダヘッドCHの略幅方向に延びる比較的短い処理経路R1～R4に加えて、全気筒を縦断してシリンダヘッドCHの長手方向に延びる長い処理経路Lとが設けられ、計5つの処理経路で構成されている。そして、例えば、処理経路L、処理経路R1、R2、R3、R4の順で、これら各処理経路に沿って、4つの気筒の吸排気ポート弁間部に対する表面改質処理を一連の工程で行うようにしている。

【0064】まず、シリンダヘッドCHの長手方向に延びる長い処理経路Lに沿って全気筒を縦断した摩擦攪拌処理を行うに際して、回転工具20は、まず最初に処理の開始部分Lsに位置設定され、処理の開始に伴い実線の折線に沿って進行し、シリンダヘッドCHの長手方向における一端側（図19における左端側）の気筒から反対側端部（同図における右端側）の気筒に向かって、各気筒における吸気ポートKcどうしの弁間部および排気ポートEcどうしの弁間部の表面処理を終えた後、終端穴処理として、回転工具20を処理経路Lのパターンにおける処理の終了部分Leに至るまで移動させ、この終了部分Leで工具20の回転を停止して上方へ引き上げられる。

【0065】この表面処理の終了部分Leは、端部の気筒部分の近傍に位置設定されたテンションボルト孔Htの穿設部の略中心に一致するように設定されている。この部分は、上述のように弁間部の表面処理後に機械加工で孔加工されて除去されるので、摩擦攪拌処理の終端穴処理を行っても、その終端穴が最終製品に残ることはない。

【0066】また、処理経路R1～R4に沿って各気筒毎の弁間部の摩擦攪拌処理を行う際には、回転工具20は、まず最初に当該処理経路R1～R4の処理パターンにおける処理の開始部分Rsに位置設定され、処理の開始に伴い実線の折線に沿って進行し、当該気筒における吸気ポートKcと排気ポートEcとの間の弁間部の表面処理を終えた後、終端穴処理として、回転工具20を当該処理経路R1～R4のパターンにおける処理の終了部分Reに至るまで移動させ、この終了部分Reで終端穴

処理が行われる。この表面処理の終了部分Reは、当該気筒部分の近傍に位置設定されたテンションボルト孔Htの穿設部の略中心に一致するように設定されている。

【0067】用いる回転工具は、上述のように図5に示したタイプIIのものとし、螺旋状の溝部25の螺旋方向と逆方向に回転工具20を回転させて処理を行った。尚、具体的には図示しなかったが、回転工具20の工具駆動手段は、より好ましくは、例えばマイクロコンピュータを主要部として構成された制御部を有する制御盤に対して信号授受可能に接続されており、所定の制御プログラムに基づいた制御盤からの命令信号に応じて、ワーク（処理対象部材）表面部に対する処理深さの設定およびワーク表面上での移動軌跡等が、自動的に設定されるようになっている。

【0068】本発明の実施の形態では、以上のようなシリンダヘッドCHの各気筒弁間部に回転工具20（タイプII）を用いて摩擦攪拌処理を行うに際して、素材の弁間幅及び弁間部の必要処理幅が設定された下で、弁間部に変形を来すことなく摩擦攪拌処理を行うためには、回転工具20の工具先端部22における円錐テーパ部24の（工具本体部21の中心軸Lbに対する）傾斜角度 β を如何に設定すれば良いかを調べる試験（試験3）を行った。

【0069】この試験3では、図7に示すように、素材の弁間幅Wc及び弁間部の必要処理幅Wrを、以下に示す3つのケース（ケース1～ケース3）に変更して設定し、それぞれのケースについて上記傾斜角度 β の好適な範囲を調べた。尚、図7において、処理対象弁間部の実線表示は摩擦攪拌処理時の母材状態を示し、2点鎖線表示は処理後の機械加工による仕上状態（加工取代 ΔM_w ）を示している。

【0070】この場合、上記回転工具20の関係寸法として、工具先端部22の最先端部分の直径寸法Dsを必要処理幅Wrと等しく設定し（ $Ds = Wr$ ）、また、工具先端部22の押し込み量を一定値（6.0mm）に設定した。そして、工具本体部21の直径Db（つまり、工具先端部22の上端部の直径）及び円錐テーパ部24の工具本体部中心軸Lbに対する傾斜角度 β を種々変更した回転工具20を製作し、これら回転工具20を用いて摩擦攪拌による弁間部の表面改質処理をそれぞれ行った。

【0071】ケース1、2及び3における素材の弁間幅Wc及び弁間部の必要処理幅Wrは、次の通りとした。

- ・ケース1：素材弁間幅Wc＝15mm；必要処理幅Wr＝7mm
- ・ケース2：素材弁間幅Wc＝20mm；必要処理幅Wr＝7mm
- ・ケース3：素材弁間幅Wc＝25mm；必要処理幅Wr＝10mm

以上のケース1、2及び3に対する試験結果を、表2、

3及び4にそれぞれ示す。

【0072】

【表2】

ケース1

テーパ傾斜角度 (度)	Ds	Db	処理幅	弁間部変形有無	押込み力	処理速度
5	7	8.0	小	○	小	遅
15	7	10.2		○		
30	7	13.9		△		
37	7	16.0		×		
45	7	19.0	大	×	大	速
60	7	27.8		×		
75	7	51.8		×		
				×		

【0073】

【表3】

ケース2

テーパ傾斜角度 (度)	Ds	Db	処理幅	弁間部変形有無	押込み力	処理速度
5	7	8.0	小	○	小	遅
15	7	10.2		○		
30	7	13.9		○		
37	7	16.0		○		
45	7	19.0	大	△	大	速
60	7	27.8		×		
75	7	51.8		×		
				×		

【0074】

【表4】

ケース3

テーパ傾斜角度 (度)	Ds	Db	処理幅	弁間部変形有無	押込み力	処理速度
5	10	11.0	小	○	小	遅
15	10	13.2		○		
30	10	16.9		○		
43	10	21.0		○		
45	10	22.0	大	△	大	速
60	10	30.8		×		
75	10	54.8		×		
				×		

【0075】上記表2、3及び4の「弁間部変形の有無」の欄において、×印は不合格で、摩擦攪拌処理によって弁間部に著しい変形が生じ、後工程の機械加工（加工取代ΔMw）による仕上工程においてもその変形を除去できない場合を示している。また、△印は、弁間部の変形が比較的大きく、後工程の機械加工による仕上工程でその変形を除去できるか否かが微妙な場合を示している。更に、○印は合格で、弁間部の変形が軽微であり、後工程の機械加工による仕上工程にて支障無くその変形を除去できる場合を示している。

【0076】上記表2、3及び4の試験結果から良く分かるように、ケース1の場合には、円錐テーパ部24の工具本体部中心軸Lbに対する傾斜角度βを15度以下に設定すれば良く、また、ケース2の場合には、上記傾斜角度βを37度以下に設定すれば良い。更に、ケース3の場合には、上記傾斜角度βを43度以下に設定すれ

ば良い。

【0077】尚、上記試験3では、A1合金を材料に用いたシリンダヘッドについてのものであったが、本発明は、例えばマグネシウム又はその合金など、他の軽金属を材料に用いた場合でも、有効に適用することが可能である。また、シリンダヘッドは、直噴ディーゼルエンジン用のものに限らず、他の種類のエンジンに用いられるものでも良く、更に、直列4気筒タイプ用、或いは多気筒タイプ用のものに限られるものでもない。

【0078】このように、本発明は、以上の実施態様に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々の改良あるいは設計上の変更が可能であることは言うまでもない。

【0079】

【発明の効果】本願請求項1の発明に係る摩擦攪拌用回転工具によれば、工具本体部の軸線を含む縦断面におけ

る周縁形状が略V字状に設定された溝部が、工具先端部の先細り状の円錐テーパ部表面に螺旋状に設けられ、該溝部は反挿入側斜面の面積が挿入側斜面の面積以上となるように設定されているので、摩擦攪拌時、高速回転状態の工具先端部を処理対象部材の表面部に対して押圧し進入させて行く際、工具先端部を螺旋状に設けられた溝部のねじ込み方向と逆方向に回転させることにより、摩擦攪拌によって溝部内及びその近辺に生じた塑性流動層の反挿入側への流動抑制効果がより大きくなり、処理対象部材の摩擦攪拌部分をショルダ部で押さえ込まなくても、その塑性流動層が表面側に盛り上がることを有効に抑制できる。従って、工具体体部の下端側に設けられたショルダ部による不要な摩擦攪拌を伴う従来の回転工具を用いる場合に生じ得る前述の不具合を解消でき、所要の処理深さを確保した上で比較的狭い範囲を摩擦攪拌することができるようになる。特に、工具先端部は先細り状の円錐テーパ部を有し、略V字状の溝部はこの円錐テーパ部表面に螺旋状に設けられているので、摩擦攪拌時の処理幅をより狭く、且つ、処理深さをより深くでき、しかも、塑性流動層の表面側への盛り上がりをより有効に抑制できるようになる。

【0080】また、本願請求項2の発明に係る摩擦攪拌用回転工具によれば、工具体体部の軸線を含む縦断面における周縁形状が略V字状に設定された溝部が、工具先端部の先細り状の円錐テーパ部表面に螺旋状に設けられ、上記縦断面内において、上記溝部の底部を通る溝底部中心線と工具体体部軸線に直交する軸直交線とのなす角度が、上記円錐テーパ部の工具体体部軸線に対する傾斜角度以下に設定されていることにより、上記溝部の反挿入側斜面の面積を挿入側斜面の面積以上に設定することができる。その結果、摩擦攪拌時、高速回転状態の工具先端部を処理対象部材の表面部に対して押圧し進入させて行く際、工具先端部を螺旋状に設けられた溝部のねじ込み方向と逆方向に回転させることにより、摩擦攪拌によって溝部内及びその近辺に生じた塑性流動層の反挿入側への流動抑制効果がより大きくなり、処理対象部材の摩擦攪拌部分をショルダ部で押さえ込まなくても、その塑性流動層が表面側に盛り上がることを有効に抑制できる。従って、工具体体部の下端側に設けられたショルダ部による不要な摩擦攪拌を伴う従来の回転工具を用いる場合に生じ得る前述の不具合を解消でき、所要の処理深さを確保した上で比較的狭い範囲を摩擦攪拌することができるようになる。特に、工具先端部は先細り状の円錐テーパ部を有し、略V字状の溝部はこの円錐テーパ部表面に螺旋状に設けられているので、摩擦攪拌時の処理幅をより狭く、且つ、処理深さをより深くでき、しかも、塑性流動層の表面側への盛り上がりをより有効に抑制できるようになる。

【0081】更に、本願請求項3の発明によれば、基本的には、上記請求項2の発明と同様の効果を奏すること

ができる。特に、上記工具本体部の軸線を含む縦断面内において、上記溝部の底部を通る溝底部中心線と工具体体部軸線に直交する軸直交線とのなす角度が、実質的に零度に設定されていることにより、同一方向に螺旋された上記略V字状溝部について、その反挿入側斜面の面積を実質的に最大化することができ、より一層高い効果を奏することが可能になる。

【0082】また更に、本願請求項4の発明に係る処理方法によれば、軽金属部材どうしを摩擦攪拌法にて接合するに際して、上記請求項1～3の何れか一の発明と同様の効果を奏することができる。

【0083】また更に、本願請求項5の発明に係る処理方法によれば、軽金属部材の所定の表面部に摩擦攪拌法にて表面改質処理を施すに際して、上記請求項1～3の何れか一の発明と同様の効果を奏することができる。

【0084】また更に、本願請求項6の発明によれば、基本的には、上記請求項5の発明と同様の効果を奏することができる。特に、アルミニウム合金鋳物製のエンジンシリンダヘッドの吸排気ポート間の表面部に対し（所謂、弁間部に対し）、摩擦攪拌処理法によってより効果的な表面改質処理を効率良く施すことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態に係る摩擦攪拌用回転工具（タイプI）の正面説明図である。

【図2】 上記回転工具の底面説明図である。

【図3】 上記回転工具の工具先端部を拡大して示す正面説明図である。

【図4】 上記工具先端部のネジ状溝部の一部を拡大して示す断面説明図である。

【図5】 本発明の第2の実施の形態に係る摩擦攪拌用回転工具（タイプII）の工具先端部を拡大して示す正面説明図である。

【図6】 試験1に用いた比較例に係る回転工具の本体部下端側及び工具先端部を示す正面説明図である。

【図7】 上記タイプIIの回転工具のシリンダヘッド弁間部の表面部への押し込み状態を模式的に示す説明図である。

【図8】 試験1においてタイプIIの回転工具により摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図9】 試験1において比較例の回転工具により摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図10】 試験2においてタイプIの回転工具により22.5mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図11】 試験2においてタイプIの回転工具により70mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図12】 試験2においてタイプIの回転工具により

150mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図13】 試験2においてタイプIIの回転工具により22.5mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図14】 試験2においてタイプIIの回転工具により70mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図15】 試験2においてタイプIIの回転工具により150mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図16】 試験2においてタイプIIの回転工具により320mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図17】 試験2においてタイプIIの回転工具により470mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図18】 試験2においてタイプIIの回転工具により750mm/分の処理速度で摩擦攪拌処理を施した表面処理部の断面状態を拡大して示す断面説明図である。

【図19】 本発明の実施の形態に係るシリンダヘッドの鋳造素材のシリンダブロックとの合せ面を概略的に示す平面説明図である。

す平面説明図である。

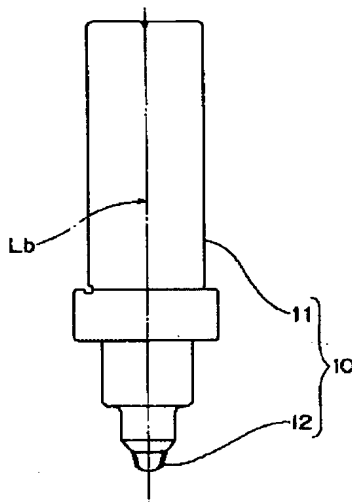
【図20】 従来例に係る回転工具による摩擦攪拌処理法を説明するための斜視図である。

【図21】 上記従来例に係る回転工具のシリンダヘッド弁間部の表面部への押し込み状態を模式的に示す説明図である。

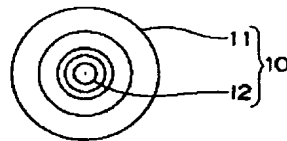
【符号の説明】

10, 20…回転工具
11, 21…工具本体部
12, 22…工具先端部
14, 24…円錐テーパ部
15, 25…溝部
15a…溝部の反挿入側斜面
15b…溝部の挿入側斜面
CH…シリンダヘッド鋳造部材
Ec…排気ポート（鋳抜き穴）
Kc…吸気ポート（鋳抜き穴）
Lb…工具本体部の軸線
Lv…溝底部中心線
Ly…軸直交線
 $\alpha, \alpha 1$ …溝底部中心線の軸直交線に対する角度
 $\beta, \beta 1$ …円錐テーパ部の工具本体部軸線に対する傾斜角度

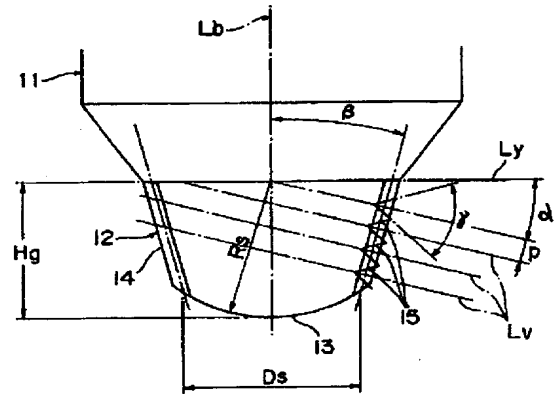
【図1】



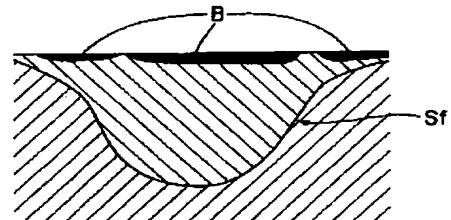
【図2】



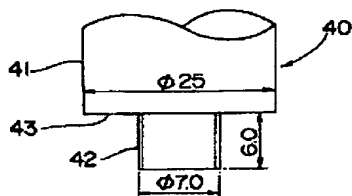
【図3】



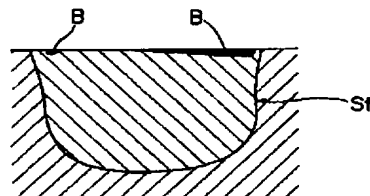
【図9】



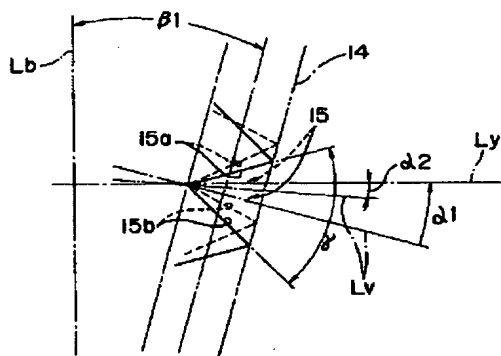
【図6】



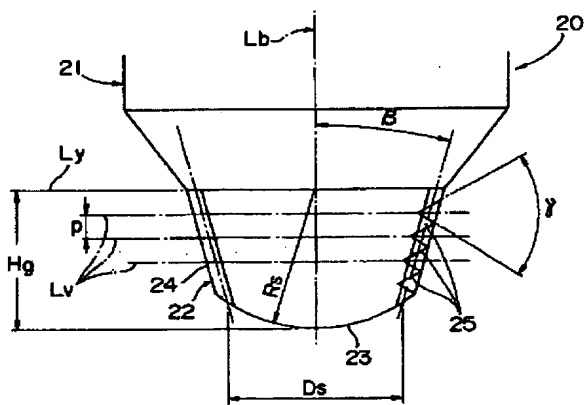
【図8】



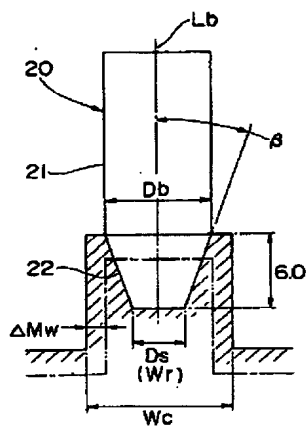
【図4】



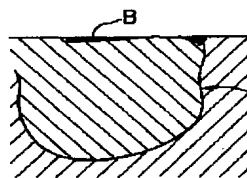
【図5】



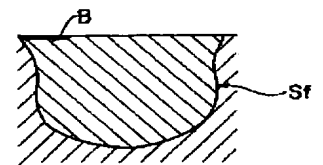
【図7】



【図10】

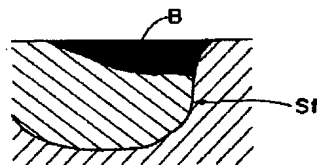


【図13】



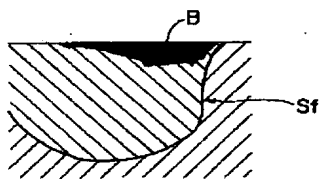
【図12】

タイプI
(150mm/min.)

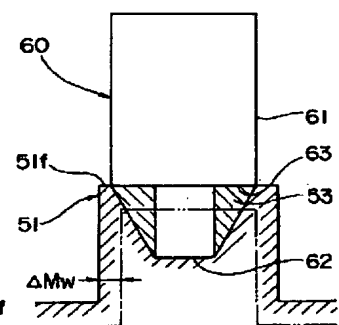


【図11】

タイプI
(70mm/min.)

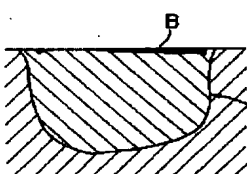


【図21】

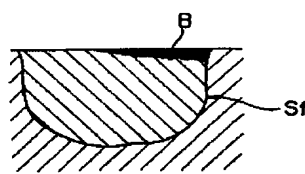


【図14】

タイプII
(70mm/min.)

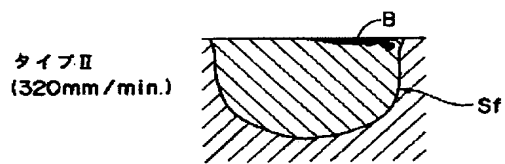


【図15】



タイプII
(150mm/min.)

【図16】



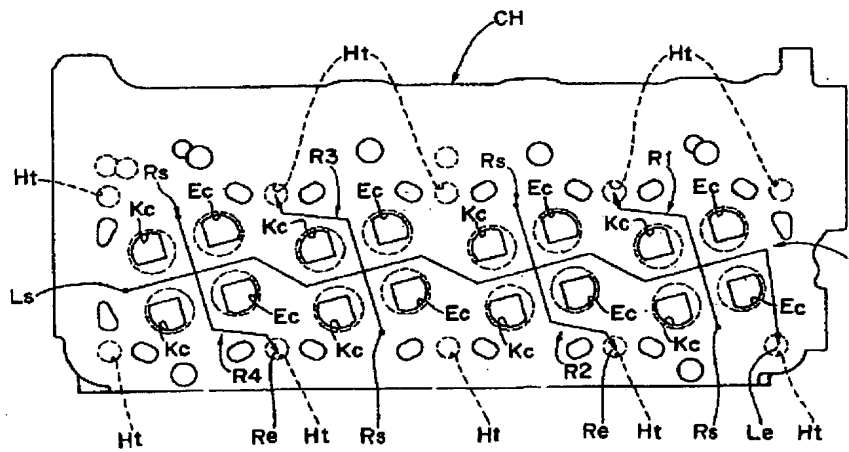
【図17】



【図18】



【図19】



【図20】

